



УДК 621.313.3

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СДПМ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

METHOD OF DETERMINING PARAMETERS OF A MODEL OF SYNCHRONOUS MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS FOR THE TASKS OF CONTROL THE FREQUENCY-ADJUSTABLE ELECTRIC DRIVES

Ефремов Владимир Дмитриевич, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.efremov127@mail.ru, Тел.: +7(922)150-74-30

Поляков Владимир Николаевич, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.n.polyakov@urfu.ru. Тел.: +7(343)375-46-46

Vladimir D. Efremov, Master student, Department «Electric drive and automation of industrial installations», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.efremov127@mail.ru, Ph.: +7(922)150-74-30

Vladimir N. Polyakov, Doctor Sc., Prof., Department «Electric drive and automation of industrial installations», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.n.polyakov@urfu.ru., Ph.: +7(343)375-46-46

Аннотация: В данной работе представлена методика расчета параметров математической модели синхронного двигателя с постоянными магнитами. Выполнено математическое моделирование синхронного электропривода с системой векторного управления.

Abstract: In this paper a methodology of calculating parameters of the mathematical model of an electric drive with PSDM is presented. A mathematical simulation of synchronous electric drive with vector control system is implemented.

Ключевые слова: электропривод; синхронный двигатель с постоянными магнитами; методика определения параметров.

Key words: electrical drive; synchronous motor with permanent magnets; method of determining parameters.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при создании сложных технических объектов часто во главу ставится их энергоэффективность, экологичность и экономия ресурсов. Одним из способов снижения энергопотребления является внедрение систем регулируемого электропривода. Синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ) находит всё большее применение в таких системах регулируемого электропривода, так как он обладает высоким КПД, что обуславливается отсутствием потерь в роторе, лучшим отношением максимальной полезной мощности к массе по сравнению с другими двигателями аналогичной мощности, а также высокими эксплуатационными характеристиками из-за отсутствия скользящих

контактов. Поэтому исследование энергоэффективного синхронного электропривода на основе СДПМ является актуальной задачей.

Распространённым и общепризнанным методом управления СДПМ является векторное управление. Векторное управление СДПМ позволяет качественно управлять электромагнитным моментом, а следовательно и механическими переменными электропривода (скоростью и положением вала).

Основной задачей работы является разработка методики расчета параметров модели СДПМ.

МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В конструктивном отношении синхронная машина с постоянными магнитами имеет на статоре трехфазную обмотку якоря, аналогичную обмотке статора синхронной машины с электромагнитным возбуждением. Известно [1], что действие стабилизированных магнитов в создании магнитного поля в воздушном зазоре эквивалентно действию фиктивной обмотки возбуждения без потерь, подключенной к источнику тока. Предполагается, что фиктивная обмотка возбуждения обладает постоянной индуктивностью рассеяния. Из этого положения вытекает возможность использования для синхронной машины с постоянными магнитами уравнений модели синхронной машины с продольным электромагнитным возбуждением, у которой полное потокоцепление обмотки фиксировано. Поэтому модель трехфазной синхронной машины с постоянными магнитами можно получить как частные случаи модели синхронной машины с продольным электромагнитным возбуждением, исключив уравнение напряжений обмотки возбуждения и приняв во внимание условие:

$$\Psi_f = \Psi_{f0} = \text{const}$$

При отсутствии в напряжениях гармонических составляющих нулевой последовательности, синхронная машина с постоянными магнитами без демпферной клетки в системе координат Odq описывается следующими уравнениями [2]:

$$\begin{aligned} U_s &= T_6 p \Psi_s + \omega B \Psi_s + R_s I_s \\ \Psi_s &= \Psi_m + L_{s\sigma} I_s \\ \Psi_{f0} &= \Psi_m + L_{f\sigma} I_f \\ \Psi_m &= F_m I_m \\ I_m &= I_s + I_f \\ m &= \xi_N B \Psi_m I_s \\ m - m_c &= T_j p \omega \\ \omega &= T_6 p \theta \end{aligned}$$

Из приведенных уравнений видно, что основными параметрами математической модели, которые необходимо иметь при математическом моделировании, являются следующие: активное сопротивление обмотки статора (r_s), индуктивность рассеяния обмотки статора ($L_{s\sigma}$), индуктивность рассеяния постоянного магнита ($L_{f\sigma}$), главные индуктивности по оси d (L_{md}) и по оси q (L_{mq}), входящие в матрицы: R_s , $L_{s\sigma}$, $L_{f\sigma}$, F_m . Помимо них необходимо знать вектор фиктивных токов (I_f) и полных потокоцеплений постоянного магнита (Ψ_{f0}).

Ниже приводится методика расчета параметров синхронного двигателя с постоянными магнитами.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СДПМ

В качестве исходных данных для расчета параметров двигателя используются:

номинальная мощность (P_N);
номинальное фазное напряжение ($U_{s,N}$);
номинальный фазный ток ($I_{s,N}$);
номинальная частота (f_N);
частота вращения (n);
номинальный КПД (η_N);
номинальный коэффициент мощности ($\cos \varphi_N$);
число пар полюсов (z_p);
число фаз обмотки якоря (m_s).

Кроме того, как видно из уравнения: $I_m = I_s + I_f$, необходимо знать вектор фиктивных токов I_f . Для того чтобы его определить нужно знать рабочую характеристику и кривую размагничивания, основными параметрами которой являются: B_r – остаточная индукция, H_c – коэрцитивная сила (рис. 1). Для ее построения используется материал, представленный в [3,4].

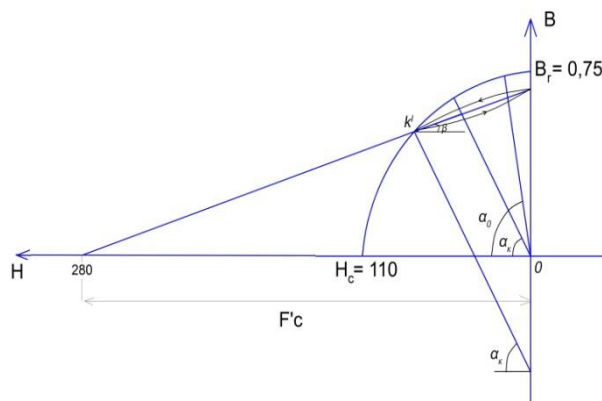


Рис. 1. Кривая размагничивания и рабочая характеристика постоянного магнита

Также необходимо знать следующие конструктивные параметры двигателя:

число витков обмотки статора на фазу (w);
диаметр статора (D);
длину магнита (l_m);
ширину полюса магнита (b_m);
число пазов статора (Z_s).

Методика расчета построена на теоретических материалах расчета синхронного двигателя с постоянными магнитами [3].

Далее приведена последовательность шагов, которые необходимо предпринять, чтобы выполнить расчет параметров синхронного двигателя с постоянными магнитами (рис. 2).

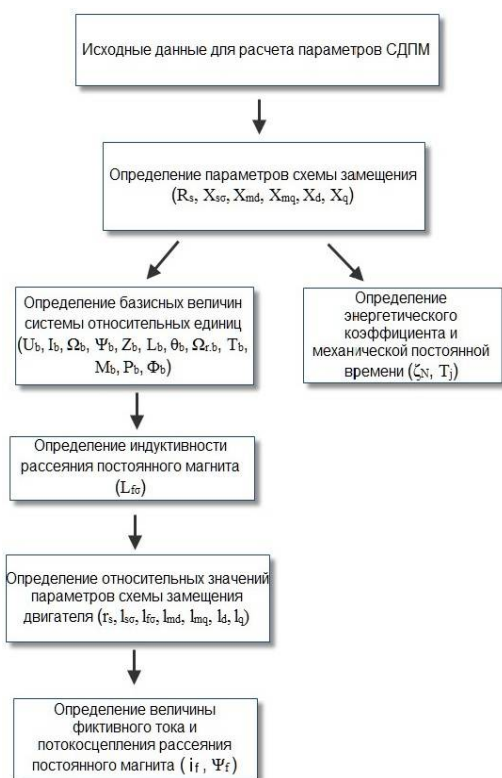


Рис. 2. Диаграмма расчета параметров СДПМ

Следует отдельно пояснить, как находится величина i_f вектора фиктивного тока постоянного магнита: $I_f = [0 \ i_f]$. Для определения i_f сначала необходимо найти фиктивную коэрцитивную силу ($F'c$) с помощью рабочей характеристики магнита, которую нужно дорестроить до пересечения с осью H (см. рис. 1) [4]. Фиктивный ток находится по следующей формуле:

$$i_f = F'c/w$$

В результате использования данной методики, для двигателя мощностью 250 Вт получены параметры, которые представлены в таблице.

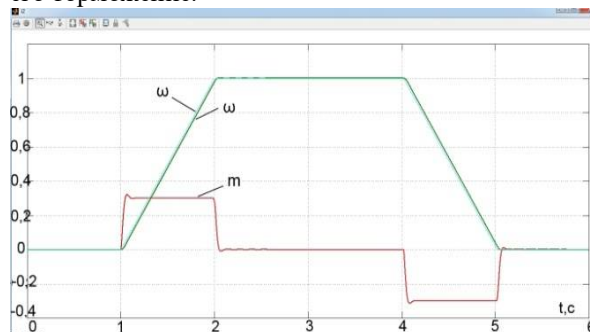
Таблица 1.

Параметры двигателя		
	Физ. единицы	Отн. единицы
Активное сопротивление r_s	0,335 Ом	0,128
Индуктивность $l_{\sigma s}$	$1,162 \cdot 10^{-3}$ Гн	0,14
Фиктивный ток i_f	3,5 А	0,308
Потокосцепление Ψ_f	$8,6 \cdot 10^{-4}$ Вб	$9 \cdot 10^{-3}$
Индуктивность l_{fs}	$2,46 \cdot 10^{-4}$ Гн	0,03
Индуктивность l_{md}	$2,6 \cdot 10^{-3}$ Гн	0,319
Индуктивность l_{mq}	$2,6 \cdot 10^{-3}$ Гн	0,319
Потокосцепление Ψ_m	0,023 Вб	0,242
Индуктивность l_d	$3,8 \cdot 10^{-3}$ Гн	0,458
Индуктивность l_q	$3,8 \cdot 10^{-3}$ Гн	0,458

Как видно из данной таблицы, величина индуктивности рассеяния постоянного магнита более чем в 10 раз меньше величины индуктивности рассеяния обмотки статора. Таким образом, в данном случае можно предположить, что она не будет влиять на характеристики двигателя. С параметрами, приведенными в таблице, выполнен расчет процессов электропривода с векторной системой управления.

РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рис. 3 представлены результаты моделирования системы управления электропривода с СДПМ в пакете MATLAB, а именно: переходные процессы, включающие пуск двигателя, работу на установившейся скорости и его торможение.

Рис. 3. Зависимость скорости (ω), задания на скорость (ω^*) и момента (m) от времени при пуске и торможении СДПМ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была представлена в общем виде методика расчета параметров динамической модели СДПМ для задач управления частотно-регулируемыми электроприводами. Полученные параметры были использованы для расчета переходных процессов синхронного электропривода с системой векторного управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вейнгер А.М. Регулируемый синхронный электропривод / А.М. Вейнгер. Москва: Энергоатомиздат, 1985. 224 с.
2. Поляков В.Н. Энергоэффективные режимы двигателей переменного тока в системах частотного управления : учеб. пособие / В.Н. Поляков, Р.Т. Шрейнер ; под общ. ред. Р.Т. Шрейнера. — Екатеринбург : УрФУ, 2017. 256 с.
3. Осин И.Л. Синхронные микродвигатели с постоянными магнитами/ И.Л. Осин, В.П. Колесников, Ф.М. Юферов - Москва: "Энергия", 1976, 232 с.
4. Чиликин М.Г. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / Б.А. Ивоботенко, В.П. Рубцов, Л.А. Садовский, В.К. Цаценкин, М.Г. Чиликин - Москва: "Энергия", 1971, 624 с.